

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
БУКОВИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МАТЕРІАЛИ

III науково-практичної інтернет-конференції



**РОЗВИТОК
ПРИРОДНИЧИХ НАУК
ЯК ОСНОВА НОВІТНІХ
ДОСЯГНЕНЬ У
МЕДИЦИНІ**

*м. Чернівці
21 червня 2023 року*



на фоні шумів, провести автоматичну статистичну обробку великої кількості даних, моделювати процеси тощо.

Таким чином, наведений неповний список досягнень фізики наочно показує розвиток одного з поширених медичних напрямків – електротерапії.

Список використаних джерел

1. Дідух В. Д. Медична фізика. Становлення та розвиток. Медична освіта. № 4, 2017. С. 8–9.
2. Полушкін П. М.. Посібник до вивчення курсу «Історія медицини» [Електронний текст]. Д.: ДНУ, 2016. 242 с. URL: http://repository.dnu.dp.ua:1100/upload/cd01488e10e047532387816735b53409Istoriya_medicini_1.PDF
3. Верхатський С.А., Заблудовський П.Ю. Історія медицини. К.: Вища школа, 1991. 431 с.

УДК 537.814+53.06+616-71

Кульчинський В.В., Гречка О.О.

ФІЗИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ВИНИКНЕННЯ ТА РОЗВИТКУ МЕТОДІВ МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНОЇ ТОМОГРАФІЇ

Буковинський державний медичний університет, Чернівці, Україна

kulchynsky@bsmu.edu.ua , hrechka05.med@bsmu.edu.ua

Анотація. Магнітно-резонансна томографія посідає визначне місце серед діагностичних методів у медицині. Історію виникнення та розвитку цього класу методів діагностики в літературі зазвичай подають, починаючи з першого медичного використання. Проте, без попередніх досягнень в фізиці, хімії, математиці та інших природничих науках практичне використання явища магнітного резонансу ядер в медицині було б неможливим. В цій роботі проведено аналіз фізичних передумов магнітно-резонансної томографії. Особливий наголос зроблено на зв'язок винаходів та відкриттів між собою.

Ключові слова: історія, магнітний резонанс, прецесія, медицина, томографія

Вступ

Магнітно-резонансна томографія (МРТ) - сукупність методів побудови пошарових зображень внутрішньої структури органів, які використовують низку фізичних явищ, ключовим з яких є явище магнітного резонансу ядра атома (ЯМР). Технологія отримання зображень методами МРТ все ще в стані розвитку. Розвиток технології МРТ дослідники розділяють на етапи, починаючи з дня відкриття. Дж.Горнак в своїй книзі про основи МРТ [1] починає часопис винаходу з 1946 року, коли Ф.Блох та Е.Парсел опублікували результати

про магнітний резонанс у парафіні та воді відповідно. Інші дослідники [2] починають історію винаходу з 1930-х років та вже згадують, що результати Е.Парсела та Ф.Блоха є продовженням попередніх експериментів І.Рабі, який спостерігав явище магнітного резонансу в молекулярних променях. Також згадують, що передумовою розробки методу магнітного резонансу ядра є поняття спіну, введеного вченим В.Паулі в 1924 році. Дослідники сучасних методів технології МРТ [3] взагалі починають часопис з моменту першого отриманого зображення тіла людини і розвивають його описом подальшою диференціацією і ускладненням фізичних, математичних та фізіологічних основ новостворених методів МРТ. Розглядаючи передумови реалізації загального задуму технології знаходимо справедливую згадку [4] про те, що функціонування сучасних МРТ-сканерів не було б можливим без відкриття, як вважають, Н.Теслою обертового магнітного поля. Інше представлення [5] основних віх становлення та розвитку технології МРТ, в якому охоплено ширший історичний контекст технології і згадано математичний апарат, який використовують при перетворенні вимірних радіочастотних електромагнітних відгуків у зображення, - перетворення Фур'є.

Всі ці екскурси в історію справедливі в світлі вказаних досліджень. Проте, для глибшого розуміння фізичних основ роботи всього комплексу обладнання, залученого для отримання МРТ зображень, важливо зрозуміти скільки зусиль було прикладено до того, як здійснено той чи інший винахід, який ліг у фундамент побудови сучасних МРТ сканерів. В цілому технологію отримання МРТ зображень можемо розділити на такі основні компоненти: фізичні явища, математичний апарат обробки, фізичні особливості протікання фізіологічних процесів. Тому розгляд передісторії будемо (наскільки це можливо) проводити за такою класифікацією.

1. Передісторія фізичних основ МТР-технології

Обертове магнітне поле: Використання магнітного поля для обертання тіла вперше продемонстровано французьким астрономом Ф.Араго в 1824 році. Пізніше (1825 р) британські дослідники Ч.Бабідж та В.Гершель отримали той самий результат, обертаючи підковоподібний магніт навколо мідного диску. Їх дослідження були підхоплені М.Фарадеєм, результатом подальших пошуків якого став закон електромагнітної індукції (1831 р). Тоді ж він започаткував свою серію “Експериментальні дослідження з електрики” (останній випуск опублікований в 1855 р). Е.Ленц виявив у 1834 році, що обертання в магнітному полі пов'язане з виникненням струмів (правило Ленца). В 1855 році М.Фуко виявив, що для обертання мідного диску необхідна більша сила, якщо цей диск буде між полюсами нерухомого магніту. При цьому спостерігав також нагрівання диску. Пояснив це виникненням

в мідному диску вихрових струмів. Багато дослідників робили спроби використати обертання предметів магнітним полем для створення двигунів. Історія ж фіксує патент сербсько-американського дослідника Н.Тесла [6], опублікований в 1888р., як результат довгих наукових пошуків від виявлення до практичного використання обертового магнітного поля.

Електромагнітні імпульси: Відкриттю електромагнітних хвиль передувало надзвичайно багато наукових пошуків як в електриці, так і в магнетизмі [7]. Крім уже вищезгаданих варто, на нашу думку, відзначити дослідження американця Дж.Генрі. Вважають, що він незалежно від Фарадея відкрив явище індукції. Хоча першість публікації має М.Фарадей, Дж.Генрі впровадив це явище у своєму винаході - електромагнітному реле (1835 р.). Роботи М.Фарадея, Е.Ленца та інших підготували всі необхідні складові для побудови Дж.Максвеллом в 1865 р. теорії класичної електродинаміки. Система рівнянь Дж.Максвелла передбачала існування електромагнітного поля без присутності носіїв заряду у вигляді електромагнітних хвиль. Вперше експериментально спостерігав їх німецький дослідник Г.Герц у 1886-1888 рр [8], створивши випромінювач та приймач елементарної електромагнітної хвилі. В найближчі роки цей експеримент, практичне використання якого сам Г.Герц не міг собі уявити, призвів до створення систем радіозв'язку. З-поміж усіх дослідників, які прагнули втілити ідею безпроводового зв'язку, в історії зафіксовано лише прізвище того, хто запатентував винахід - італійця Г.Марконі (1897 р.) [9].

Явище прецесії: Про явище прецесії в астрономії відомо ще з часів Гіппарха (190-120 до н.е.), а механіку цього явища вперше пояснив І.Ньютон (1657 р). В 1895 році Дж.Лармор пояснив розщеплення спектральних ліній в магнітному полі прецесією електрона, який обертається в магнітному полі [10].

Поняття спіну: Введене вченим В.Паулі [11] в 1924 році як “двозначність, що не підлягає класичному опису” для пояснення поведінки електронів на зовнішніх оболонках. Фізичного пояснення тоді це поняття не мало. В 1925 році деякі дослідники пов'язували спін з власним моментом обертання частинки. В 1927 році В.Паулі, використавши нароби Е.Шредінгера та В.Гейзенберга у квантовій механіці, узагальнив теорію спіну, в якій підкреслив, що спін є некласичним власним параметром частинки. Розглядаючи розвиток науки ретроспективно, говорять, що перше експериментальне підтвердження існування спіну ядра було в досліді Штерна-Герлаха в 1922 році, хоча нинішнє пояснення експеримент отримав у 1927 році.

Явище ЯМР: При спробах модифікувати для визначення магнітного моменту ядер експериментальну установку досліду Штерна-Герлаха атомів учений І.Рабі спостерігав в

1938 році явище магнітного резонансу [12]. В своїй роботі він припустив, що причиною є перекидання напрямку власного магнітного моменту ядра під дією імпульсу радіочастотного діапазону і випромінювання такого ж імпульсу при релаксації до початкового стану. Він назвав це явище молекулярно-променевим магнітним резонансом. Подальші експерименти інших науковців призвели до того, що в 1946 році незалежно один від одного Е.Парсел та Ф.Блох спостерігали ЯМР атомів та молекул не у молекулярних пучках, а в твердому чи рідкому стані. Ці експерименти дали поштовх дослідженням параметрів магнітного резонансу в різних речовинах. Так виник новий метод фізико-хімічного аналізу - спектроскопія ядерного магнітного резонансу, який дозволяє за зсувом частоти, при якій відбувається резонанс, визначити те, в якому оточенні перебуває досліджуваний атом. Найновішим [13] є модифікація методу з використанням ядер в гіперполяризованому стані, що дозволяє сканувати речовину з використанням слабких магнітних полів.

2. Передісторія математичних основ МРТ-технології

Перетворення Фур'є: Основою Фур'є перетворення є розклад функції у тригонометричні ряди, які ввів Л.Ейлер у 1748 році. Методику знаходження коефіцієнтів розкладу шляхом почленного інтегрування Л.Ейлер опублікував у 1798 році. Проте, схожі методи представлення функцій відомі задовго до нього: вавилонські математики (IV ст. до н.е.) використовували схожу методику для розрахунку положення астрономічних тіл; система Птолемея (87—165 рр.) теж подібна за способом проведення обчислень із аналізом Фур'є. Для розрахунку елементів орбіт небесних тіл А.Клеро в 1754 році та для розрахунку коливань струни Ж.Лагранж в 1759 році використали різновиди дискретного перетворення Фур'є. Перші дослідження, які можна було б ретроспективно назвати Фур'є аналізом, описано в 1770 році в роботі Ж.Лагранжа щодо вивчення розв'язку кубічних рівнянь. Й.К-Ф.Гаусс в 1805 році використав розклад в ряди для тригонометричної інтерполяції орбіт астероїдів. При пошуку розв'язку задачі розповсюдження тепла Ж.Фур'є в 1822 році отримав диференціальне рівняння теплопровідності. Спроба розв'язати це рівняння при заданих граничних умовах привела його до представлення усіх функцій в рівнянні рядами тригонометричних функцій. Ж.Фур'є вважав, що довільну функцію можна представити таким чином. Й.Діріхле в 1829 році довів, що для збіжності рядів Фур'є необхідно накладати на функцію, яка підлягає розкладу, низки обмежень. Ці обмеження викликали пошук іншого представлення функцій рядами. В А.Хаар (1909 р.) запропонував свою систему функцій, які тепер називають вейвлетами. Д.Габор (1946 р.) ввів функції, т.з. атоми Габора, які за своєю суттю та призначенням подібні до функцій Хаара. Значний внесок у теорію вейвлетів Г.Цвейга, який розробив метод неперервного вейвлет-перетворення у 1975 році (початково

називав кохлеарне перетворення, оскільки відкрив його досліджуючи реакцію вуха на звуки) [14]. Термін “вейвлет” введений цей Ж.Морлетом та А.Гроссманом у 1980-ті в значенні “маленька хвиля”. Подальші дослідження вейвлет-представлення призвели до появи багатьох модифікацій. Одна із найвідоміших - стандарт стиснення зображень JPEG 2000. Сьогодні розділяють дискретне вейвлет-представлення та неперервне вейвлет-представлення. Перше використовують зазвичай для стиснення даних, друге - для аналізу сигналів.

Перетворення Радона: Введене в 1917 році австрійським математиком Й.Радонем перетворення та зворотне до нього перетворення стало математичною основою для методів комп'ютерної томографії. В 1963 році А.Кормак використав аналогічне перетворення для томографічного відновлення. В 1969 році інженер-фізик Г.Хаунсфілд сконструював сканер, зображення якого отримували на основі перетворень Кормака. Перші випробування (1972 р.), публікація в 1973 році [15].

3. Передісторія накопичення знань щодо фізичних особливостей фізіологічних процесів

Публікації Е.Парсела та Ф.Блоха підштовхнули проводити дослідження МР сигналів живих організмів. Дослідження часів релаксації МР відгуку та впливу на ці часи процесів дифузії та хімічного обміну води у клітинах та тканинах різних типів з'явилися в науковій літературі: серед них роботи І.Гана (1950), Р.Габіларда (1951, 1952), Г.Карра та У.Перселла (1954), Е.Одеблада (1954, 1955, 1957), О.Джардецькі (1956), Дж.Сінгера (1959), Г.Браттона (1965), А.Ганссена (1967) Дж.Джексона та У.Лангама (1968), С.Газлвуда (1969, 1971), Р.Кука та Р.Віена (1971), Дж.Ганссена (1971), П.Лаутербура (1971, 1973, 1974, 1976, 1977, 1978), Р.Дамадяна (1971, 1974), Д.Голліса (1972), Абе Зенуемона та ін (1973), П.Мансфілда (1973, 1976, 1977, 1986), К.Танаки (1974), В.Гіншау (1974, 1976, 1977), А.Гарровея (1974), Д.Гатчінсона (1974), А.Кумара з Д.Велті та Р.Ернстом (1975), Д.Гоулта (1977), У.Едельштейна (1980), Р.Мюллера (1983), П.Рінка (1984). Такі дослідження дозволили накопичити достатньо знань для використання явища ЯМР в медицині. Перші клінічні зображення потребували витрати великої кількості часу та були низької якості. Багато з сьогоднішніх інновацій спираються на роботи І.Гана, П.Лаутербура, В.Гіншау, П.Мансфілда. Спін-ехо послідовність, наприклад, стала великим кроком вперед до повсякденного використання МРТ технології. Хоча сьогодні вже сприймається як даність і викликає бажання замінити швидкими ехо-послідовностями, але в той час розробка такої технології була дуже доречі. Пришвидшення отримання МРТ зображень в клінічних умовах стало можливим завдяки роботам Дж.Генніга (1986), А.Гаазе (1986), Р.Джонса (1993), К.Пруесмана та М.Вейгера (1999). Розвиток МРТ в ролі технології медичної діагностики відкрив шлях для

розробки кількох спеціалізованих методів отримання зображень. Дифузійна МРТ: Е.Стеджскал (1965); функціональна МРТ: Дж.Беліво (1990, 1991); МРТ на основі різниці магнітних властивостей крові: Л.Паулінг та Ч. Коріел (1936), С.Огава (1990), Р.Тернер (1991), К.Квонг (1992); використання контрастних агентів: П.Лаутербур (1978), М.Медонца-Діас (1983), Г.Віенман (1983), Г.Карр (1984) [16].

Результати

Передісторія винаходів та відкриттів у фізиці, математиці та техніці для забезпечення функціонування МРТ сканера заходить глибоко в історію від часів Античності до сьогодення. Поступ винаходів спостерігаємо в деяких випадках незалежно в різних галузях, в інших випадках - винахід в одній галузі знань стає можливим тільки при досягненні успіхів в суміжних галузях знань. Оскільки технологія МРТ знаходиться між медициною, біологією, хімією, фізикою та комп'ютерними науками, то поступ технології можливий в дослідницьких групах з сильним міждисциплінарним зв'язком. Таким чином, винаходи сьогодення для швидкого практичного втілення здебільшого вимагають глибокої міжгалузевої взаємодії дослідників.

Висновки

Поглиблений історичний огляд становлення технології МРТ дозволяє узагальнити розуміння явищ та принципів роботи відповідного медичного обладнання, а також усвідомити взаємовплив досягнень різних галузей науки та техніки на загальний поступ впровадження винаходів у повсякденне життя.

Список використаних джерел

1. J.P. Hornak, The Basics of MRI, Interactive Learning Software, Henrietta, NY, 2012, <http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/>.
2. Jahng, Geon-Ho & Park, Soonchan & Ryu, Chang & Cho, Zang. (2020). Magnetic Resonance Imaging: Historical Overview, Technical Developments, and Clinical Applications. Progress in Medical Physics. 31. 35-53. 10.14316/pmp.2020.31.3.35.
3. Cinciute S. 2019. Translating the hemodynamic response: why focused interdisciplinary integration should matter for the future of functional neuroimaging. PeerJ 7:e6621 DOI 10.7717/peerj.6621
4. <https://mysurgeryabroad.com/blog/a-brief-history-of-mri-scanners/>
5. <https://www.siemens-healthineers.com/perspectives/history-of-mri>
6. N.Tesla. Electro-magnetic Motor. No.381,968. Patented May 1, 1888. <https://patents.google.com/patent/US381968>
7. http://web.hep.uiuc.edu/home/serrede/P435/Lecture_Notes/A_Brief_History_of_Electromagnetism.pdf
8. Heinrich Hertz (1893). Electric Waves: Being Researches on the Propagation of Electric Action with Finite Velocity Through Space. Dover Publications. ISBN 1-4297-4036-1.
9. U.S. Patent 586,193 "Transmitting electrical signals", (using Ruhmkorff coil and Morse code key) filed December 1896, patented July 1897
10. Larmor J (1897). "LXIII.On the theory of the magnetic influence on spectra; and on the radiation from moving ions". Philosophical Magazine. 5. 44 (271): 503–512. doi:10.1080/14786449708621095
11. Wolfgang Pauli (December 13, 1946). "Exclusion Principle and Quantum Mechanics" <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/pauli-lecture.pdf>

12. Rabi, I.I.; Zacharias, J.R.; Millman, S. & Kusch, P. (1938). "A New Method of Measuring Nuclear Magnetic Moment". *Physical Review*. 53 (4): 318–327. doi:10.1103/PhysRev.53.318
13. Erik T. Van Dyke et al., Relayed hyperpolarization for zero-field nuclear magnetic resonance. *Sci. Adv.* 8, eabp9242 (2022). DOI:10.1126/sciadv.abp9242
14. G. Zweig, R. Lipes, J. R. Pierce; The cochlear compromise. *J Acoust Soc Am* 1 April 1976; 59 (4): 975–982. <https://doi.org/10.1121/1.380956>
15. G.N. Hounsfield Computerized transverse axial scanning (tomography). *Br. J. Radiol.* 46:1016-1022 (1973).
16. <https://www.magnetic-resonance.org/ch/24-14.html>

УДК 61:602:001.895(091)

Махрова Є.Г.

ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ СТАНОВЛЕННЯ МЕДИЦИНИ У КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ І ДОСЯГНЕНЬ В ГАЛУЗІ ІНЖЕНЕРІЇ

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці

mahrova.jevgenija@bsmu.edu.ua

Анотація. Ця стаття прослідковує історію становлення медицини в контексті розвитку та досягнень інженерії. Вона охоплює період від античності до сучасності, звертаючись до ключових етапів, де співпраця між медициною та інженерією привела до значних проривів у лікуванні та діагностиці.

Ключові слова: медицина, інженерія, історія, технології, медичні пристрої, розвиток.

Історія медицини тісно пов'язана з розвитком інженерії, оскільки багато медичних досягнень стали можливими завдяки новим технологіям та винаходам в галузі інженерії. Наприклад, винаходи в області оптики дозволили створити мікроскопи, що дозволили лікарям бачити бактерії та інші мікроорганізми, що спричиняють хвороби. Також, розвиток електроніки дозволив створити різноманітні медичні прилади, які допомагають лікарям діагностувати та лікувати хвороби, такі як ЕКГ-апарати, УЗД-апарати та інші.



Розвиток медицини і інженерії є двома взаємопов'язаними сферами, які мають багато спільних точок контакту. Становлення медицини у контексті розвитку і досягнень інженерії можна прослідкувати на протязі вікових етапів. У ранніх стадіях розвитку медицини, особливо в античності і середньовіччі, лікарі базувалися на філософських та релігійних переконаннях. Їх методи обмежувалися спостереженнями і